

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
9 octobre 2003 (09.10.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 03/083892 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
H01J 37/256, G01N 23/225

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR03/00987

(22) Date de dépôt international : 28 mars 2003 (28.03.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02/04074 29 mars 2002 (29.03.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
CAMECA [FR/FR]; 103, boulevard Saint Denis, F-92400  
Courbevoie (FR).

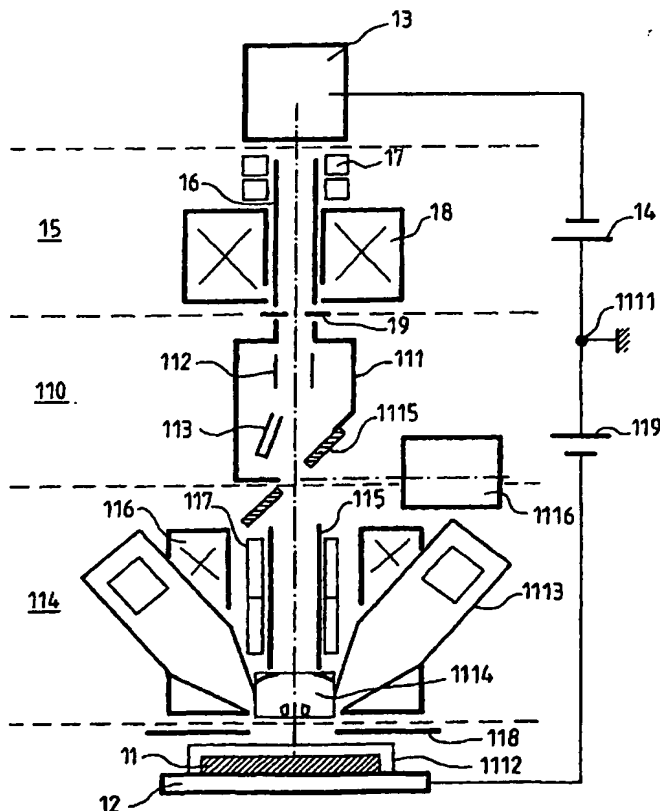
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DE CHAM-  
BOST, Emmanuel** [FR/FR]; Thales Intellectual Property,  
31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex  
(FR); **HOMBOURGER, Chrystel** [FR/FR]; Thales Intel-  
lectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117  
Arcueil Cedex (FR); **MONTERO, Juan** [FR/FR]; Thales  
Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand,  
F-94117 Arcueil Cedex (FR); **MONTALLUT, Pierre**

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR MEASURING THE EMISSION OF X RAYS PRODUCED BY AN OBJECT EXPOSED TO AN ELEC-  
TRON BEAM

(54) Titre : DISPOSITIF DE MESURE DE L'EMISSION DE RAYONS X PRODUITE PAR UN OBJET SOUMIS A UN FAIS-  
CEAU D'ELECTRONS



(57) Abstract: The invention relates to a device for measuring the emission of X rays produced by an object or sample exposed to an electron beam. The device comprises at least one subset or electronic column enabling the production and control of an electron beam, and a support enabling the measured object to be positioned. It also comprises means for spectral analysis of the X rays emitted by a sample which is to be studied, and optical means enabling the position of the sample to be controlled in relation to the beam. The energy of the beam thus created and the intensity of the stream of electrons obtained meets the requirements in terms of sensitivity, resolution and precision specified by the manufacturers of semi-conductors. The invention is used, in particular, in the control of the production of integrated circuit wafers.

(57) Abrégé : La présente invention porte sur un dispositif de mesure de l'émission de rayons X produite par un objet, ou échantillon, soumis à un faisceau d'électrons. Le dispositif comporte au moins un sous-ensemble ou colonne électronique qui permet d'élaborer et de contrôler le faisceau d'électrons et un support permettant de positionner l'objet mesuré. Il comporte également des moyens d'analyse spectrale des rayons X émis par l'échantillon à analyser et des moyens optiques permettant de contrôler la position de l'échantillon par rapport au faisceau. L'énergie du faisceau créé, ainsi que l'intensité du courant d'électrons obtenu permettent de répondre aux exigences

[Suite sur la page suivante]



WO 03/083892 A1



[FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR). **STAUB, Pierre-François** [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(74) **Mandataires : LUCAS, Laurent** etc.; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(81) **États désignés (national) :** JP, US.

(84) **États désignés (régional) :** brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

## DISPOSITIF DE MESURE DE L'EMISSION DE RAYONS X PRODUITE PAR UN OBJET SOUMIS A UN FAISCEAU D'ELECTRONS.

La présente invention porte sur un dispositif de mesure de l'émission de rayons X produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons. Elle concerne notamment la réalisation d'un dispositif permettant de contrôler la qualité de fabrication de circuits intégrés réalisés sur des tranches de silicium encore appelées "Wafers" dans la littérature anglo-saxonne. Le dispositif est destiné à effectuer des mesures de composition et d'épaisseur sur les structures conductrices et diélectriques constituant ces circuits intégrés. Le dispositif est également destiné à optimiser le temps d'analyse d'un wafer en sortie de fabrication.

Ce dispositif est notamment destiné à équiper des chaînes de fabrication de circuits intégrés.

Le besoin de pouvoir caractériser de manière quantitative des structures très fines, enfouies dans les premiers nanomètres des matériaux solides de type semi-conducteurs par exemple, ne cesse de croître au fil des années. C'est notamment le cas dans le domaine de la microélectronique. L'augmentation de la célérité des circuits électroniques est liée aux besoins du marché. Cet accroissement de la célérité passe par la réduction de la taille de ces circuits et donc des éléments de structure qui constituent les transistors

Ainsi, la taille minimum de ces transistors est passée de  $2\mu\text{m}$  en 1980 à 180nm aujourd'hui. L'objectif visé est la mise en service de transistors ayant des tailles de 130nm et 100nm dans les années à venir et de 50nm par la suite.

La réalisation de tels transistors sub-microniques, implique de maîtriser les étapes de formation de structures très fines, dont l'épaisseur n'excède par exemple pas 50nm. Deux étapes de fabrication sont notamment très importantes :

- l'implantation ionique des porteurs de charges qui peut être réalisée sur une épaisseur n'excédant pas d'ores et déjà quelques nanomètres avant activation.

- le recouvrement du transistor par un matériau diélectrique de grille, sous forme d'une couche de matériau dont l'épaisseur est désormais parfois inférieure au nanomètre.

Des épaisseurs de cet ordre représentent des quantités d'atomes  
5 typiquement comprises entre  $10^{13}$  et  $10^{16}$  atomes par  $\text{cm}^2$ .

Face aux difficultés de réalisation, les fabricants de semi-conducteurs sont à la recherche de dispositifs industriels d'analyse, capables de caractériser de manière fiable les structures sub-microniques réalisées.

10 Ces dispositifs doivent être suffisamment sensibles et précis pour pouvoir quantifier et contrôler avec exactitude, typiquement à 1% près, les caractéristiques de composition et d'épaisseur des structures fabriquées.

Ces dispositifs doivent également avoir une résolution suffisante pour permettre un contrôle analytique sur des zones très petites, dédiées à ces  
15 tests et situées en bordure des puces électroniques. La taille des zones de test est typiquement de l'ordre  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ .

Ces dispositifs doivent en outre établir des diagnostics, dans des temps compatibles avec des contraintes liées à l'environnement de production. Ces temps sont par exemple de l'ordre de quelques minutes pour l'inspection d'un  
20 wafer.

Les structures élaborées devenant de plus en plus fines, leur contrôle nécessite de pouvoir réaliser des mesures de plus en plus précises. En regard des ordres de grandeur des mesures à effectuer, les dispositifs  
25 actuellement disponibles sur le marché sont inappropriés et affichent des performances insuffisantes. Ce manque de performance touche plusieurs aspects, depuis le manque de précision dans les résultats quantitatifs jusqu'au manque pur et simple de sensibilité.

30 Un but de l'invention est notamment de répondre aux exigences citées dans ce qui précède. A cet effet l'invention a pour objet un dispositif de mesure de l'émission de rayons X, produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons. Ce dispositif comporte principalement :

- Des moyens d'émission d'électrons;

- Un étage d'accélération dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel  $\Delta V_1$ ;

- Un espace sans champ électrique dans lequel le faisceau d'électrons est mis en forme et contrôlé;

5 Un étage de freinage dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel  $\Delta V_2$  de signe opposé à  $\Delta V_1$ ;

Un support permettant de positionner l'objet sous le faisceau d'électrons;

10 Des moyens d'analyse spectrale des rayonnements X émis par l'objet analysé;

Ce dispositif présente l'avantage d'émettre un faisceau d'électrons de faible dimension, compatible avec les contraintes de résolution citées précédemment.

15

Le faisceau d'électron présente peu de dispersion ce qui assure une bonne précision d'éclairement.

20 La profondeur de pénétration du faisceau d'électrons à l'intérieur du matériau à analyser est réglable et permet avantageusement d'obtenir une sensibilité compatible avec les contraintes liées à la finesse des couches analysées.

L'intensité du courant d'électrons produit permet également d'accroître la sensibilité du dispositif.

25

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit, faite en regard des figures annexées qui représentent :

30 La figure 1, une représentation schématique du dispositif.

La figure 2, une représentation schématique du trajet du faisceau d'électrons.

La figure 3, une illustration de l'action du champ retardateur sur un faisceau d'électrons.

La figure 4, une architecture possible d'un système d'automatisation du dispositif.

Le dispositif selon l'invention est représenté sur la figure 1. Il comporte  
5 principalement un sous-ensemble appelé colonne électronique, destiné à l'émission, à la formation et au pilotage du faisceau d'électrons, un sous-ensemble réalisant l'analyse spectrale des émissions de rayons X caractéristiques de l'objet analysé et un support d'échantillon 12 sur lequel est placé l'échantillon 11 à analyser. Il comporte également un sous-  
10 ensemble optique permettant la visualisation de l'échantillon 11. D'autres sous-ensembles peuvent être intégrés au dispositif, pour réaliser des fonctions annexes ou complémentaires comme notamment des moyens de commande automatique ou encore des moyens permettant de modifier la position de l'échantillon par rapport au faisceau. L'ensemble du dispositif est  
15 placé dans une enceinte, non représentée sur la figure, dans lequel règne un vide plus ou moins poussé selon les besoins.

La colonne électronique comporte plusieurs parties, chaque partie comportant elle-même plusieurs éléments.

20 Le sous-ensemble 13 destiné à l'émission et à l'accélération du faisceau d'électrons est l'élément de la colonne situé le plus en amont. Il comporte notamment une source d'électrons portée à un potentiel HV1 et un étage d'accélération des électrons.

La source électronique peut être de nature diverse, notamment une Source  
25 froide à effet de champ, une source Schottky à cathode ponctuelle ou encore une source à cathode thermoémissive. Le potentiel HV1 est appliqué à la source au moyen d'un générateur 14.

Au niveau de l'étage d'accélération les électrons sont soumis à une  
différence de potentiel  $\Delta V1$  égale par exemple à la tension délivrée par le  
30 générateur 14. Cette différence de potentiel est telle qu'elle crée un champ électrique qui accélère les électrons émis par la source.

Les électrons ainsi accélérés quittent le sous-ensemble émission 13 et  
abordent un espace soumis à un champ électrique sensiblement nul, dans  
35 lequel ils conservent une énergie pratiquement constante. Dans cet espace

sans champ se forme et se propage le faisceau d'électrons. Cet espace sans champ comporte lui-même plusieurs zones.

Une première zone 15 de formation du faisceau est située immédiatement en aval du dispositif d'émission. Cette zone est entourée d'une enceinte 16 métallisée intérieurement qui peut par exemple prendre la forme d'un tube. Cette enceinte est portée au potentiel de référence 1111 du générateur 14. Le potentiel de référence peut par exemple être la masse de l'ensemble du dispositif selon l'invention.

10

Autour de l'enceinte 16, juste en aval de la source, sont disposés des éléments déviateurs 17, par exemple magnétiques, dont le rôle est d'ajuster la position ou la direction du faisceau d'électrons.

15

Autour de l'enceinte 16 est également disposée une lentille magnétique 18 qui permet de donner au faisceau d'électrons une forme tubulaire, non focalisé, dans lequel les électrons suivent des trajectoires parallèles.

20

A la sortie de l'enceinte 16 est positionné un diaphragme 19 dont le rôle consiste à limiter le diamètre du faisceau d'électrons. Cette limitation du diamètre du faisceau a notamment pour rôle de faire en sorte que le diamètre du faisceau qui attaque le plan de l'échantillon ne dépasse pas la valeur maximum voulue. Ce diamètre maximum est par exemple celui requis par la résolution spectrale des spectromètres ou bien la résolution spatiale nécessaire pour la mesure.

25

Ce diaphragme peut être un élément unique avec une ouverture de diamètre fixe. Il peut également être constitué d'un ensemble de diaphragmes commutables ayant des diamètres d'ouverture différents.

30

La commutation de diaphragmes de diamètres différents est un moyen avantageux qui permet de faire varier l'intensité du faisceau sans modifier les caractéristiques de la source d'électrons.

L'espace sans champ électrique comporte une deuxième zone 110 de mesure du courant d'électrons. Cette zone est par exemple située en aval du

35

diaphragme. Elle est entourée d'une enceinte conductrice 111 portée comme l'enceinte 16 au potentiel de référence du générateur 14.

A l'intérieur de l'enceinte 111, des moyens de déflexion 112 sont disposés  
5 autour du faisceau. Ces moyens de déflexion sont destinés à dévier le faisceau de son trajet normal vers l'échantillon à analyser. Le faisceau ainsi dévié est dirigé vers un dispositif 113 qui mesure la densité du flux d'électrons. Ce dispositif capteur d'électrons, de type puits de Faraday par exemple, est également positionné dans l'enceinte 111 et isolé  
10 électriquement.

Les moyens de déflexion 112, qui peuvent par exemple être des bobines magnétiques ou des plaques électrostatiques, sont mis en service périodiquement. Ceci permet avantageusement d'effectuer une mesure périodique du courant d'électrons. Le choix des moyens de déflexion utilisés  
15 est fonction de la rapidité et de la cadence de mesure souhaitées. Pour actionner ces moyens de déflexion, l'invention comporte également un dispositif de commande ayant des temps très courts de mise en et hors service. Ce dispositif, non représenté sur la figure, permet de défléchir périodiquement le faisceau pendant de courts instants et d'effectuer des  
20 mesures de courant en cours d'utilisation du faisceau. Ainsi avec des temps de commutation inférieurs, par exemple, à la microseconde on peut effectuer une mesure d'une milliseconde tous les dixièmes de seconde. On obtient alors une mesure par échantillonnage de l'intensité du faisceau. L'expérience montre que si l'on procède à une mesure de l'intensité pendant 1% du temps,  
25 la mesure est réalisée avec une précision suffisante et laisse le faisceau disponible pour l'analyse pendant 99% du temps.

L'enceinte 111 renferme les moyens de mesure du courant d'électrons : Il y a donc avantage à la placer, en aval de tout élément destiné  
30 à limiter la taille du faisceau, comme par exemple un diaphragme. Ainsi, le courant de faisceau mesuré est le même que le courant de faisceau qui atteint l'échantillon.

L'espace sans champ électrique comporte une troisième zone 114 de  
35 focalisation du faisceau. Cette zone est par exemple située en aval de la

zone 110 décrite précédemment. Cette zone est entourée d'une enceinte conductrice 115 qui entoure le faisceau et qui est portée comme les enceintes 16 et 111, au potentiel de référence du générateur 14.

5           Autour de l'enceinte 115 est disposée une lentille magnétique 116 dont le rôle est de focaliser le faisceau d'électrons sur un point de la surface de l'échantillon à analyser. Cette lentille peut être considérée, par analogie optique, comme l'objectif du système.

10           Entre la lentille 116 et l'enceinte 115 entourant le faisceau, il est possible de disposer des déflecteurs. Ces dispositifs déflecteurs 117 pourront servir à positionner ou à déplacer le faisceau sur l'échantillon pour effectuer un balayage.

15           Dès sa sortie de l'enceinte 115 le faisceau quitte l'espace sans champ électrique et aborde le voisinage de l'échantillon à analyser avec une énergie sensiblement identique à leur énergie initiale.

20           En aval de l'enceinte 115, le dispositif selon l'invention comporte une plaque perforée 118 pouvant être refroidie par exemple grâce à une circulation d'azote liquide. Le refroidissement cette plaque permet notamment d'améliorer, par condensation, la qualité du vide au voisinage de l'échantillon.

25           Après son passage au travers de la plaque 118, le faisceau d'électrons quitte la colonne électronique et termine son parcours en bombardant l'échantillon 11 à analyser.

30           Comme le montre la figure 1, l'échantillon à analyser est posé sur un support 12 qui est un élément conducteur. Par l'intermédiaire d'un générateur 119, l'échantillon est porté à un potentiel HV2 de même signe que le potentiel HV1. Le potentiel de référence du générateur 119 est relié à celui du générateur 14. De cette façon, la tension  $\Delta V2$  appliquée entre l'échantillon 11 et l'enceinte 115 est de même signe que la tension  $\Delta V1$  appliquée au  
35           dispositif d'émission d'électrons.

Dès sa sortie de l'espace sans champ électrique et juste avant la zone d'impacte avec l'échantillon, le faisceau d'électrons se trouve donc soumis à un champ électrique retardateur dont l'action va consister à freiner les électrons et donc à diminuer leur énergie. Le réglage de la différence de potentiel HV1 – HV2 entre la source d'électrons 13 et l'échantillon 11 est par exemple réalisé en jouant sur la valeur de la tension  $\Delta V_2$ . On peut ainsi choisir de faire varier la valeur du freinage auquel sont soumis les électrons en jouant simplement sur la valeur de  $\Delta V_2$ .

Il est donc avantageusement possible, en faisant varier la valeur de la différence de potentiel HV1 – HV2, de régler la valeur de l'énergie d'impact du faisceau d'électrons sur l'échantillon et donc sa profondeur de pénétration.

Un autre avantage lié à la création du champ retardateur après la dernière lentille de focalisation est l'augmentation considérable de la densité de courant d'électrons qui en résulte. L'augmentation de la densité de courant d'électrons a pour avantage d'accroître la sensibilité du dispositif. Cette augmentation de la densité de courant d'électrons provient de la limitation de la taille de la zone d'aberration du faisceau. La zone d'aberration est créée par le passage du faisceau à travers la lentille 116.

La plaque 118 peut également être conductrice et comporter une électrode permettant de la mettre à un potentiel qui peut par exemple varier entre la masse et le potentiel HV2 de l'échantillon 11. Si l'on porte par exemple la plaque 118 au potentiel HV2, la zone située entre cette plaque et l'échantillon devient également une zone sans champ électrique. Ceci permet avantageusement d'éviter qu'il ne se crée un flux d'ions susceptible d'éroder la surface de l'échantillon au cours de l'analyse. Une telle érosion aurait pour conséquence de fausser les résultats.

L'échantillon 11 à analyser est placé sur le support 12 à l'intérieur d'une enceinte 1112, ou chambre objet, perméable aux rayons X. Le support est par exemple susceptible de se déplacer, de façon à permettre un positionnement optimal de l'objet à analyser sous le faisceau d'électrons.

La chambre objet 1112, où est logé l'échantillon, est elle-même placée sous un vide sec et poussé, de l'ordre de  $10^{-7}$  à  $10^{-8}$  Torr. Ce vide est par exemple réalisé par l'utilisation d'une pompe turbo-moléculaire assistée d'un sublimateur de titane.

- 5 Une micro-fuite est placée au-dessus de l'échantillon. Son rôle est de permettre d'injecter dans certains cas un gaz quelconque et de dégrader localement le vide. Ceci favorise l'élimination des charges électrostatiques et d'éventuels éléments contaminant résiduels pouvant être piégés à la surface de l'échantillon.

10

Pour caractériser l'émission de rayons X caractéristiques de l'échantillon analysé, le dispositif selon l'invention comporte des moyens 1113 d'analyse spectrale. Ces moyens sont par exemple des spectromètres détecteurs de rayons X, de type WDS, connus par ailleurs. La figure 1  
15 présente à titre d'exemple des détecteurs disposés dans la zone 114 de l'espace sans champ de façon inclinée autour de l'enceinte 115. La base de ces détecteurs est incorporée dans la lentille magnétique 116.

Le dispositif selon l'invention comporte également des moyens  
20 optiques permettant d'observer l'échantillon. Grâce à cette observation il est par exemple possible de déterminer le positionnement convenable en hauteur de l'échantillon, de façon à toujours disposer du meilleur rendement des spectromètres 1113. Ces moyens optiques comportent notamment un objectif catadioptrique 1114, un miroir de renvoi 1115, percé pour permettre  
25 le passage du faisceau d'électrons et une optique externe 1116.

La figure 2 du document présente de façon schématique, par analogie optique, l'aspect du faisceau d'électrons créé par le dispositif selon l'invention. Sur ce schéma les lentilles électromagnétiques 18 et 116 de la  
30 figure 1 sont représentées par leurs équivalents optiques 22 et 23. Ces 2 lentilles forment un système afocal à l'intérieur duquel le faisceau est quasi parallèle. Le faisceau ainsi créé ne présente pas de zone de cross-over et a l'avantage de présenter moins d'aberrations dues aux interactions entre électrons. Ce phénomène d'aberration du faisceau, consécutif aux

interactions entre électrons, est connu par ailleurs sous le nom d'effet BOERSCH.

Les distances relatives des différents éléments sont choisies en fonction de la taille du faisceau que l'on souhaite obtenir au plan de l'échantillon à analyser.

Si par exemple, la distance entre la source 21 et la lentille 22 est 4 fois plus grande que la distance entre la lentille 22 et la lentille 23, le système optique génère sur l'échantillon une image 24 de la source, réduite d'un facteur 4.

Ainsi, si la source réelle représentée par la source idéale 21 a un diamètre typique de 60µm, l'image de cette source formée au plan de l'échantillon sera d'environ 15µm.

La figure 3 du document explique de façon imagée l'action du champ retardateur sur un faisceau d'électrons. La figure représente le trajet au travers d'une lentille d'un faisceau d'électrons issu d'une source ponctuelle et son image 31, ou spot, sur un plan 35. Sur l'illustration de gauche le faisceau 33 n'est soumis à aucun champ retardateur alors que sur l'illustration de droite un tel champ est appliqué au faisceau 34.

Il est connu que dans un système d'optique électronique, tant qu'on suppose que les aberrations des lentilles sont négligeables par rapport au diamètre du spot 31 considéré, la densité de courant du spot est donnée par :

$$J \text{ (A/cm}^2\text{)} = \beta \cdot \pi \cdot \alpha^2 \quad (1)$$

où  $\alpha$  est le demi-angle d'ouverture du faisceau et  $\beta$  la brillance du faisceau.  $\beta$  ne dépend en première approximation que de la source d'électrons caractérisée par  $\beta_0$  et de l'énergie que porte ces électrons qui est définie par le potentiel d'accélération  $V$ . On peut écrire :

$$\beta = \beta_0 \cdot V \quad (2)$$

Pour avoir une densité de courant maximum, on est donc amené à travailler avec la demi-ouverture  $\alpha$  la plus grande possible, en utilisant la lentille 32 sur la totalité de sa section. Ceci a notamment pour conséquence

que, vis à vis de la lentille, le diamètre du faisceau 33 n'est alors plus égal au diamètre gaussien  $D_0$ , pour lequel la traversée de la lentille se fait sans aberration. Il est égal à un diamètre réel  $D_a$  déterminé par les aberrations du système optique. La densité de courant d'un spot est alors donnée par :

5

$$J \text{ (A/cm}^2\text{)} = \beta \cdot \pi \cdot \alpha^2 \cdot (D_0/D_a)^2 \quad (3)$$

En première approximation les aberrations sphériques et chromatiques dépendent de la fraction de la section de la lentille objectif 116  
10 qui est traversée par le faisceau.  $\beta$  ne dépend, quant à lui, que de l'énergie d'impact caractérisée par  $V$ . Dans les deux cas illustrés, l'énergie d'impact d'un électron  $E_0$  est la même. Elle est donnée par :

$$E_0 = e.V \quad (4).$$

15

Où  $e$  représente le module de la charge de l'électron et  $V$  la différence de potentiel à laquelle est soumis l'électron.

Dans le cas de la figure de gauche, il n'y a pas de champ retardateur  
20 entre la lentille 32 et le plan 35 : l'énergie des électrons est égale à  $E_0$  sur tout le parcours. Dans le cas de la figure de droite en revanche, il existe un champ retardateur dont la présence va accroître l'énergie des électrons avant la lentille. Cet accroissement d'énergie va se traduire par une diminution de la taille du faisceau, la demi-ouverture  $\alpha$  du faisceau 34 après  
25 la lentille restant par ailleurs identique.

D'après la loi de la brillance, les courants électroniques seront identiques, alors que la section de la lentille 32 traversée par le faisceau 34 est, dans le second cas, beaucoup plus réduite. Le diamètre de la zone d'aberration se trouve donc lui aussi réduit, ce qui conduit avantageusement à obtenir une  
30 densité de courant beaucoup plus élevée.

Si on considère par exemple des électrons dont l'énergie de 500eV est portée, grâce au champ retardateur, à 5000eV avant la lentille, la densité de courant obtenue est 4 fois plus élevée que dans le cas où les électrons sont véhiculés, sans champ retardateur, avec une énergie de 500eV tout au long  
35 du parcours.

Outre les éléments fonctionnels décrits précédemment, le dispositif selon l'invention peut comporter un sous-ensemble, par exemple électronique, dont le rôle est d'automatiser l'ensemble des commandes servant au pilotage des divers éléments que comporte le dispositif.

La figure 4 présente une architecture possible pour un tel sous-ensemble. Le sous-ensemble présenté est composé de deux éléments, une interface 41 et un calculateur 42.

10

L'interface comporte par exemple des cartes électroniques ayant chacune pour fonction de piloter une des grandes fonctions du dispositif. Ainsi on trouve :

- 15 - une carte électronique 43 chargée du contrôle des mouvements de l'échantillon à analyser,
- une carte électronique 44 contrôlant les différents éléments de la colonne électronique,
- une carte électronique 45 chargée de la mise en œuvre des spectromètres,
- 20 - une carte électronique 46 contrôlant la mise sous vide du dispositif.

L'interface communique avec le calculateur 42 via une carte électronique serveur 47 qui interprète les ordres envoyés par le calculateur.

25

Le calculateur est une station de travail utilisateur, par exemple un PC fonctionnant dans un environnement Windows. Il est équipé d'une interface homme-machine graphique qui permet à l'opérateur d'accéder notamment à un contrôle interactif 48 du dispositif ainsi qu'à une gestion 49 des séquences automatiques d'analyse.

30

Le dispositif selon l'invention est associé à un protocole analytique menant à l'obtention de résultats quantitatifs quant à la composition élémentaire de l'échantillon. Ce protocole consiste à effectuer des mesures d'intensité du rayonnement X caractéristique des éléments présents dans

35

l'échantillon. Les résultats sont obtenus en faisant varier l'énergie incidente des électrons primaires, puis en interprétant quantitativement ces mesures à l'aide d'un modèle de simulation approprié. L'énergie des électrons primaires est contrôlée par l'application des potentiels convenables sur l'échantillon et la source. Les mesures du courant de faisceau et du flux de photons X émis, font l'objet d'une acquisition par le système automatique décrit précédemment.

Les résultats de mesures sont inscrits par le calculateur dans un tableau constitué de N lignes. Chaque ligne du tableau regroupe l'ensemble des données relatives à une mesure. Pour chaque instant de mesure on trouve donc une ligne regroupant les données qui lui sont associées. Ces données sont par exemple l'instant de mesure, l'énergie d'impact des électrons calculée par la différence HV2-HV1, ainsi que la mesure du courant de faisceau mesuré par échantillonnage par le dispositif capteur d'électrons, et l'accumulation des photons X mesurée sur chacun des spectromètres.

Ainsi, il est par exemple possible au cours d'une analyse de faire évoluer de manière manuelle ou automatique, la valeur de l'énergie d'impact du faisceau et d'exploiter les résultats obtenus à l'aide d'un traitement numérique approprié. On peut alors déterminer les attributs essentiels d'une structure particulière de l'échantillon analysé. Ces attributs sont par exemple son épaisseur, la dose intégrée, c'est à dire le nombre d'atomes implantés par unité de surface, ou encore la distribution en profondeur associée à l'élément mesuré.

Les mesures élémentaires effectuées ici peuvent bien évidemment être reproduites sur tous les points de test d'une structure de type wafer. L'automatisation permet alors avantageusement d'effectuer sans intervention manuelle et de manière précise l'analyse complète d'un wafer.

## REVENDECATIONS

1. Dispositif de mesure de l'émission de rayons X produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons, caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- Des moyens d'émission d'électrons;
- Un étage d'accélération dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel  $\Delta V1$ ;
- Un espace sans champ électrique dans lequel le faisceau d'électrons est mis en forme et contrôlé;
- Un étage de freinage dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel  $\Delta V2$  de signe opposé à  $\Delta V1$ .
- Un support permettant de positionner l'objet sous le faisceau d'électrons ;
- des moyens d'analyse spectrale des rayonnements X émis par l'objet analysé;

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les différences de potentiel  $\Delta V1$  et  $\Delta V2$  sont appliquées à l'aide de deux générateurs (14 et 119) dont les potentiels de référence sont reliés entre eux, le premier générateur (14) portant la source d'émission d'électron au potentiel HV1 et le deuxième générateur (119) portant l'objet à analyser (11) au potentiel HV2.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les potentiels de référence (1111) des deux générateurs (14 et 119) sont reliés à la masse du dispositif.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique comporte des enceintes (16, 111, et 115) portées au potentiel de référence (1111) des deux générateurs (14 et 119).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique renferme au moins

des moyens (18 et 116) permettant de former faisceau d'électrons ne présentant pas de zone de cross-over, et de le focaliser.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une électrode (118) placée entre le support d'échantillon et le reste du dispositif, cette électrode pouvant être portée à un potentiel quelconque.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que cette électrode (118) est une plaque perforée, cette plaque pouvant être refroidie.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique renferme des moyens (113) permettant de mesurer l'intensité du courant de faisceau.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens (113) permettant de mesurer l'intensité du courant de faisceau sont associés à des moyens de déviation (112) du faisceau d'électrons, ces moyens de déviation permettant de diriger le faisceau vers les moyens de mesure du courant d'électrons.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens de déviation (112) sont activés par un système électronique rapide permettant d'effectuer la mesure par échantillonnage, en cours d'analyse.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'analyse spectrale (1113) comportent au moins un spectromètre WDS.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une chambre objet (1112) placée sous un vide sec et poussé.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que la chambre objet (1112) comporte une micro-fuite.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens optiques permettant de visualiser l'objet analysé.

15. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens optiques comportent au moins une optique catadioptrique (1114) placée au voisinage de l'objet, un miroir de renvoi (1115) percé, et un système optique externe (1116).

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une interface électronique (41) de commande et d'acquisition reliée aux différents éléments du dispositif, permettant le contrôle à distance du dispositif et l'acquisition des données correspondant aux mesures effectuées.

17. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte un calculateur (42) relié à l'interface électronique (41) et équipé d'une interface homme-machine permettant de contrôler à distance différents éléments du dispositif et d'exploiter de manière automatique les mesures effectuées.

1/4

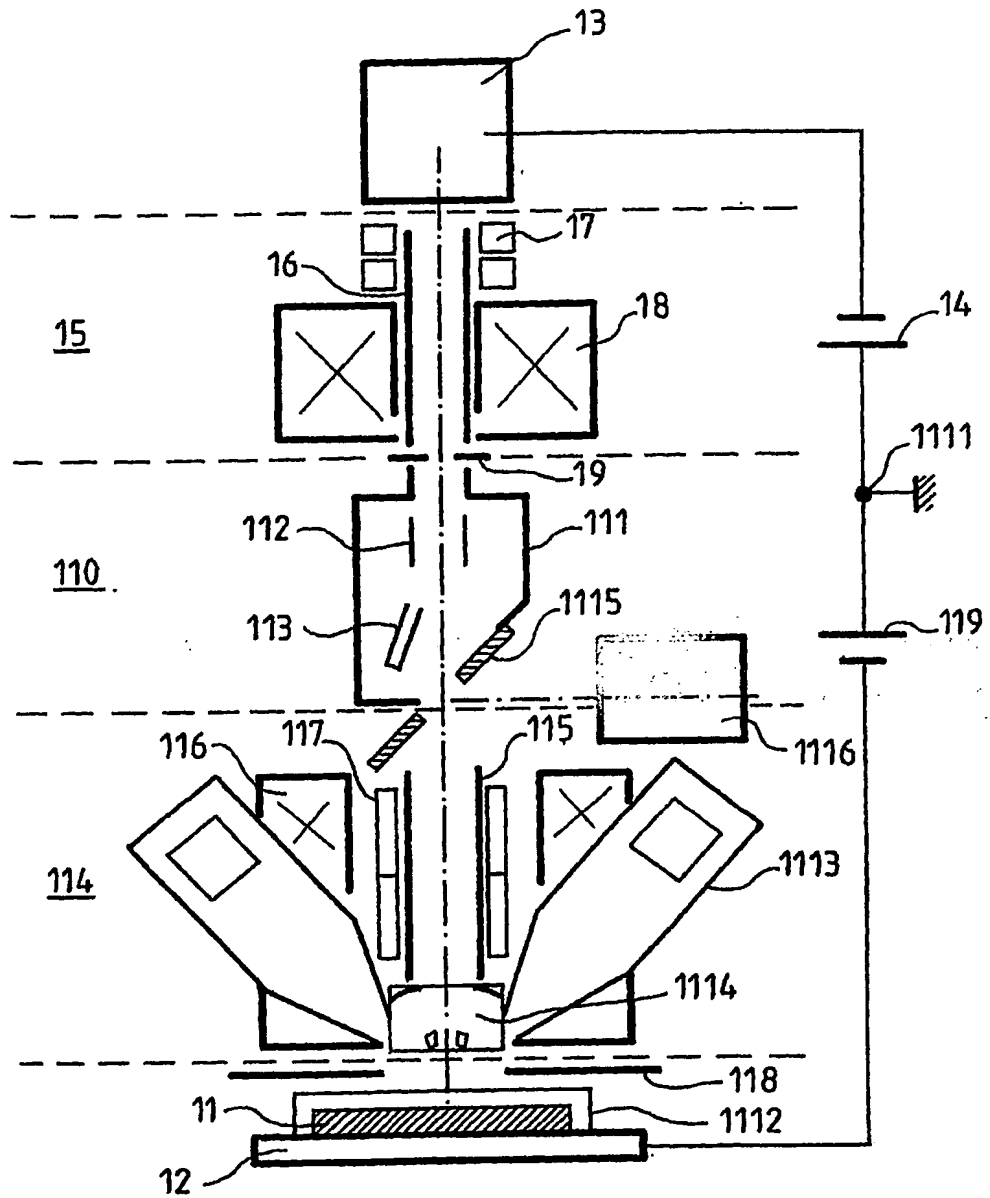


FIG.1

2/4

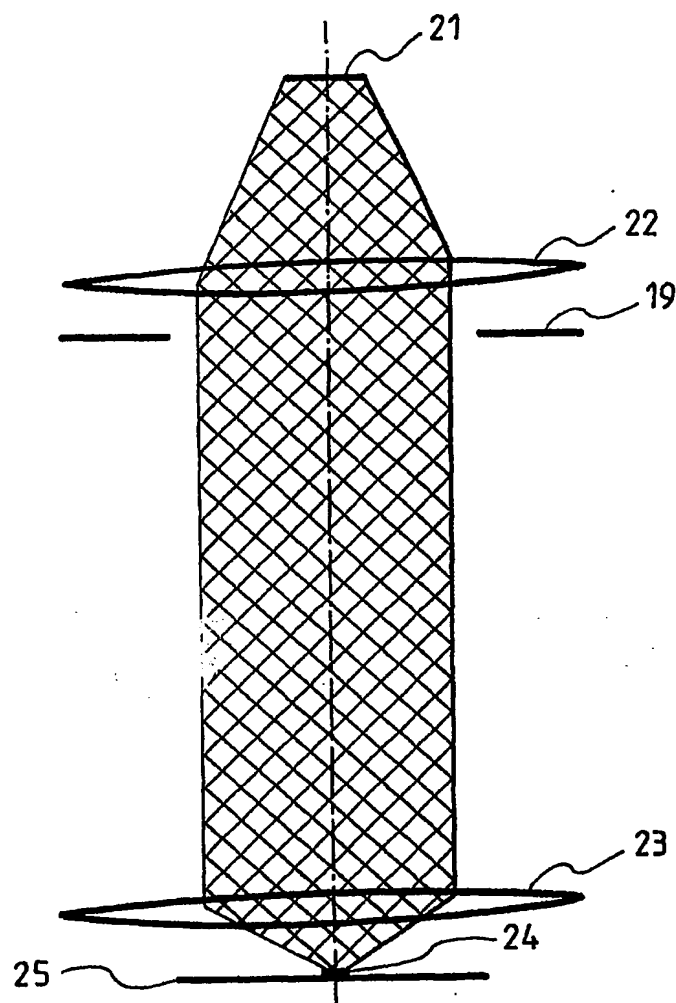


FIG. 2

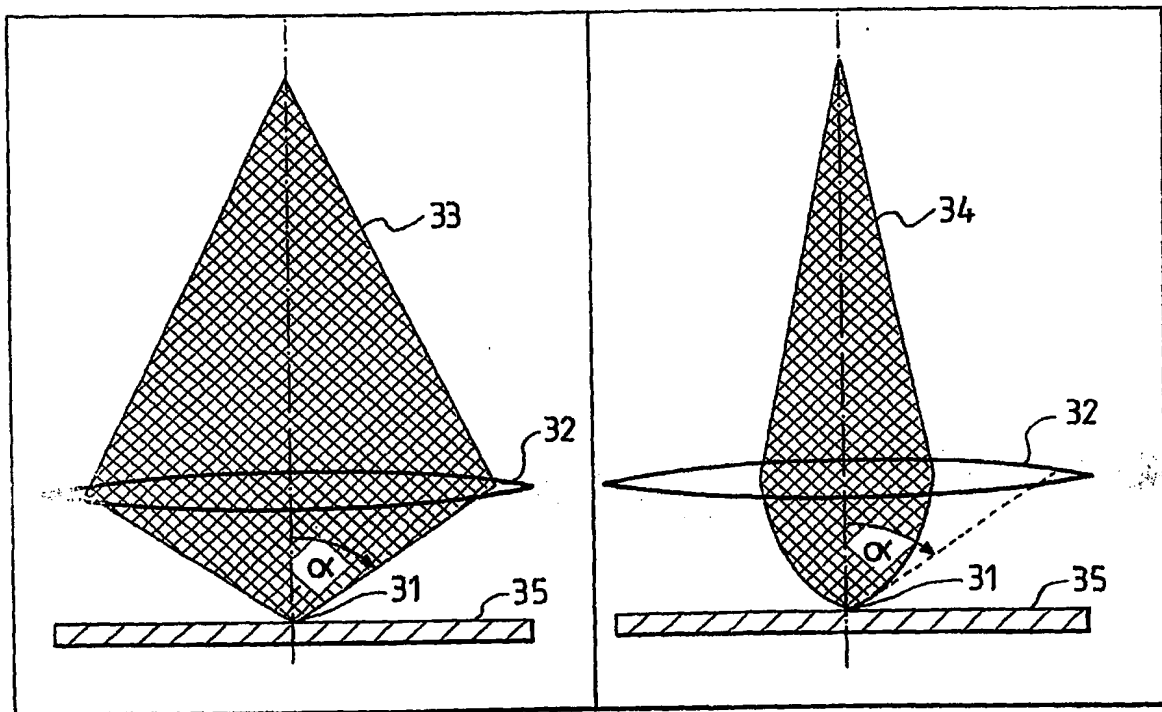


FIG.3

4/4

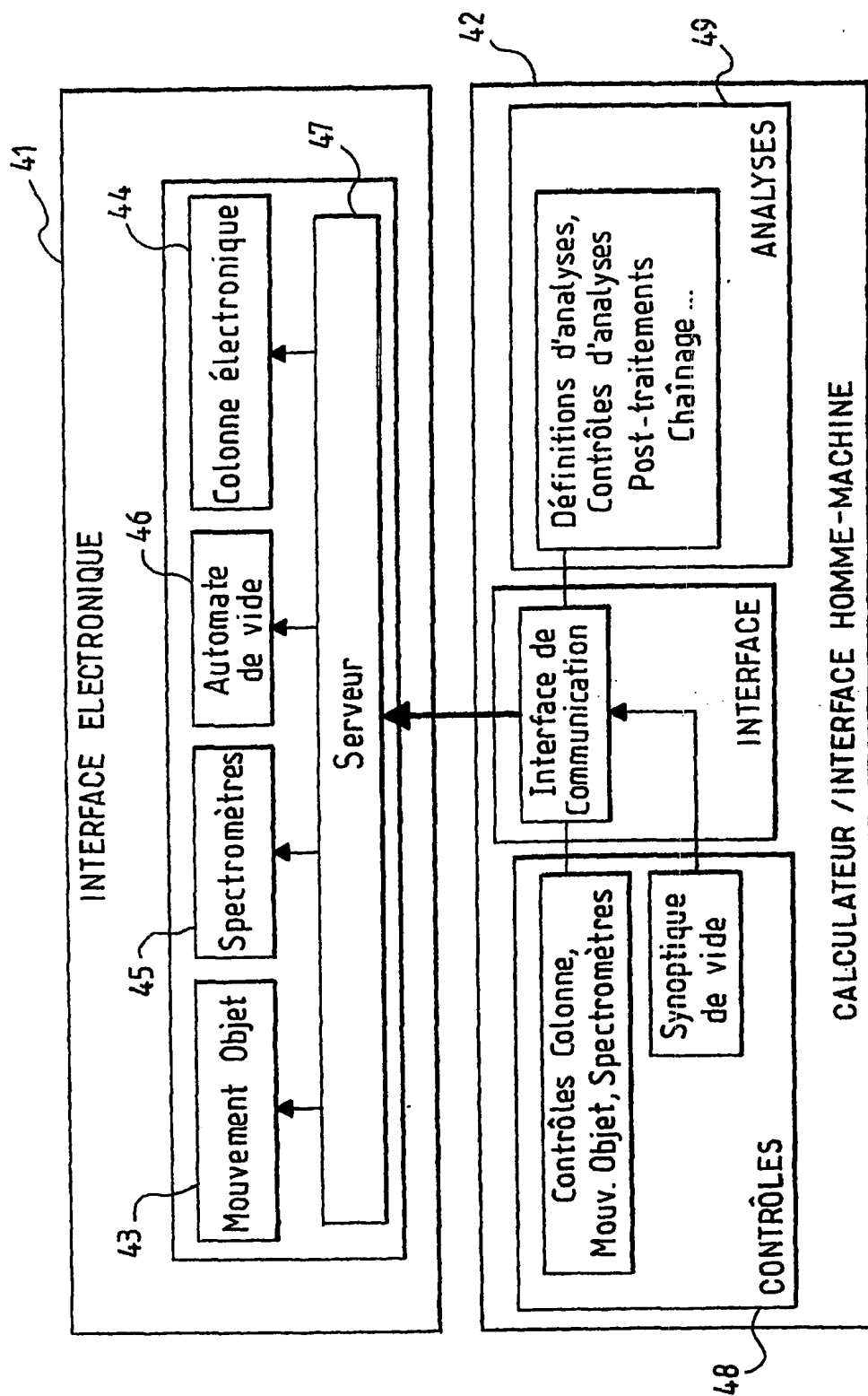


FIG.4

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internati Application No  
PCT/FR 03/00987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01J37/256 G01N23/225

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01J G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 760 180 A (WEBER U) 18 September 1973 (1973-09-18) column 1, line 28 - line 52 column 2, line 23 - line 45 column 4, line 19 - line 24 claim 2	1-3,6,7
Y	WO 01 95365 A (KLA TENCOR CORP) 13 December 2001 (2001-12-13) abstract; figures	1-3,6,7
A	US 5 714 757 A (OSABE SATOSHI ET AL) 3 February 1998 (1998-02-03) column 5, line 12 - column 6, line 6	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 July 2003

Date of mailing of the international search report

04/08/2003

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat Application No

PCT/FR 03/00987

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 3760180	A	18-09-1973	DE	2151167 A1	10-05-1973
			CH	547530 A	29-03-1974
			FR	2157476 A5	01-06-1973
			GB	1389119 A	03-04-1975
WO 0195365	A	13-12-2001	EP	1305815 A1	02-05-2003
			WO	0195365 A1	13-12-2001
US 5714757	A	03-02-1998	DE	19538253 A1	18-04-1996
			JP	8166362 A	25-06-1996

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/00987

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H01J37/256 G01N23/225

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01J G01N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 3 760 180 A (WEBER U) 18 septembre 1973 (1973-09-18) colonne 1, ligne 28 - ligne 52 colonne 2, ligne 23 - ligne 45 colonne 4, ligne 19 - ligne 24 revendication 2	1-3,6,7
Y	WO 01/05365 A (KLA TENCOR CORP) 13 décembre 2001 (2001-12-13) abrégé; figures	1-3,6,7
A	US 5 714 757 A (OSABE SATOSHI ET AL) 3 février 1998 (1998-02-03) colonne 5, ligne 12 - colonne 6, ligne 6	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

28 juillet 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

04/08/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Schaub, G

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/00987

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3760180	A	18-09-1973	DE 2151167 A1 CH 547530 A FR 2157476 A5 GB 1389119 A	10-05-1973 29-03-1974 01-06-1973 03-04-1975
WO 0195365	A	13-12-2001	EP 1305815 A1 WO 0195365 A1	02-05-2003 13-12-2001
US 5714757	A	03-02-1998	DE 19538253 A1 JP 8166362 A	18-04-1996 25-06-1996